

# Rádiós hozzáférő hálózatok elemzése és méretezése analitikus módszerekkel

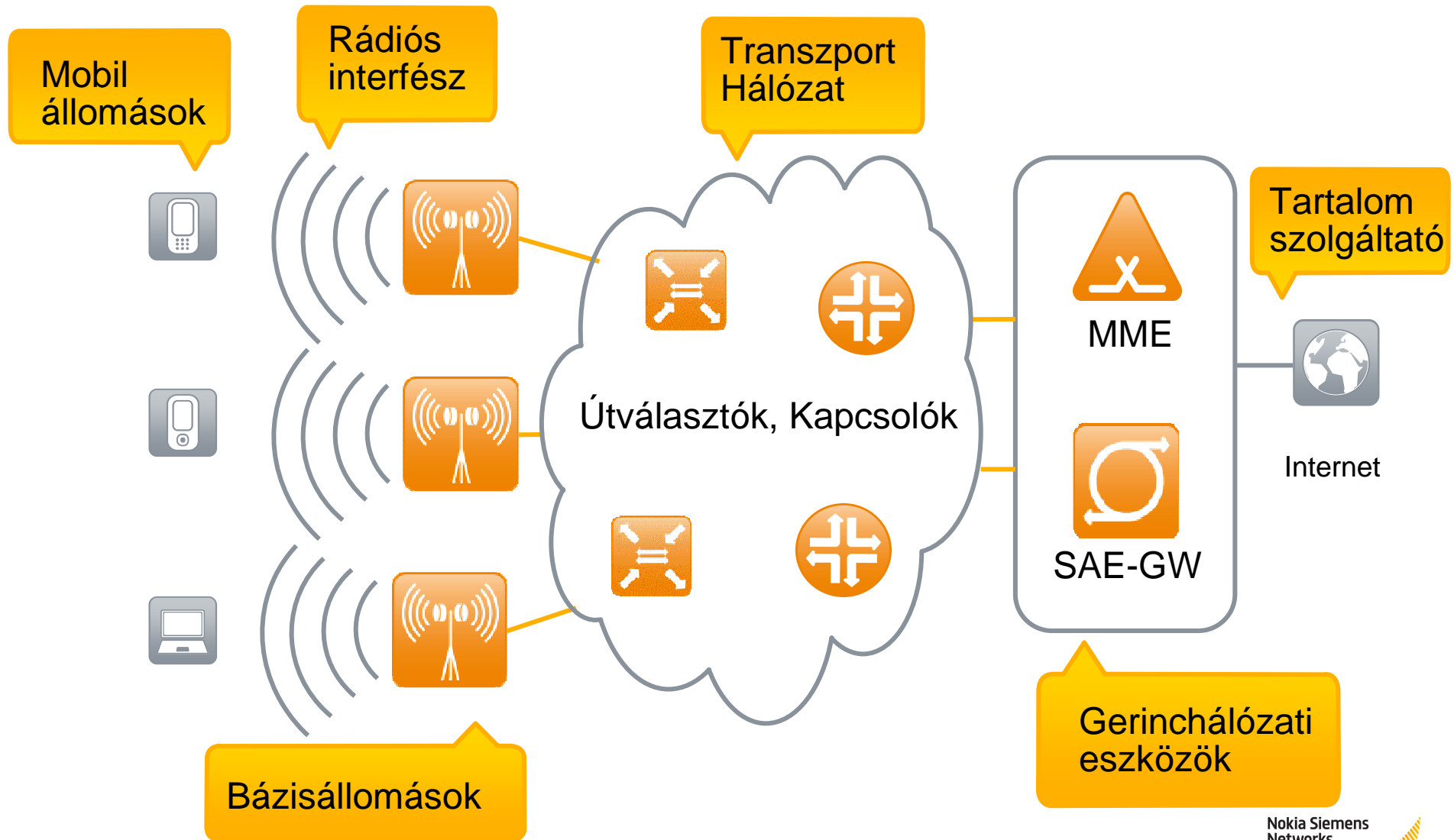
**Rákos Attila**

**Nokia Siemens Networks**

# Rádiós hozzáférő hálózatok szerepe

- Biztosítják a felhasználóknak a szolgáltatásokhoz való zavartalan hozzáférést helytől függetlenül.
- Szolgáltatások:
  - Telefonálás
  - Internetezés
  - Navigáció, térkép
  - E-mail
  - Játékok, chat, facebook, twitter
  - Video telefon
- A szolgáltatásokat felhasználótól függően (premium, gold) adott minőségben kell nyújtani.

# Rádiós hozzáférő hálózatok architektúrája (LTE)



# A méretezés célja és szempontjai

- Felhasználói:
  - A szolgáltatások elérhetősége minden előfizető számára, vagyis a lefedettség biztosítása (rádiós interfész), helytől és időtől függetlenül
  - **A szolgáltatások minőségének biztosítása** (megfelelő letöltési sebesség, kis késleltetés, jó minőségű hang és kép, stb.), vagyis a felhasználók szubjektív minőségi elvárásainak való megfelelés
- Szolgáltatói:
  - Megbízható, redundáns hálózat: hiba esetén a megfelelő védelem biztosítása, nagyon rövid ideig tartó szolgáltatás kiesés.
  - Hatékony erőforrás kihasználás, azaz adott erőforrás mellett a paraméterek (konfiguráció) ideális hangolása.
  - **Költséghatékonyság**, azaz azt a legolcsóbb megoldást keressük, amely teljesíti az adott igényeket.
  - Bővíthetőség
- A szempontok néha ellentétesek

# Minőség (QoS)

## Szubjektív szempontokat leíró paraméterek

- **Késleltetés**
  - Egy csomag elküldése és megérkezése között eltelt idő.
  - Leginkább valós idejű szolgáltatásoknál (hanghívás, videotelefon) fontos.
  - Túl nagy késleltetés esetén a szolgáltatás minősége romlik.
  - Nem csak a késleltetés nagysága, hanem annak szórása (jitter) is lényeges.
- **Dobás**
  - A hálózatban torlódás esetén csomagdobás történhet.
  - Valós idejű szolgáltatások esetén (nincs újraküldés) minőségromlást okoz.
  - Túl nagy dobási ráta hívásbontást eredményezhet.
  - Nem valós idejű szolgáltatás (pl. fájl-letöltés) esetén újraküldést eredményez, csökkenti a letöltés sebességét.
- **Le- vagy feltöltés sebessége (throughput)**
  - A nem valós idejű kapcsolatok arányosan osztoznak az erőforrásokon.
  - Alacsony throughput alacsony minőséget jelent.

# Mit méretezünk?

## Rádiós lefedettség:

- A cél az, hogy a szolgáltatás a lehető legtöbb helyen, jó minőségben elérhető legyen

## Hálózati erőforrások:

- Topológia: mit mivel, milyen technológiai szinten kössük össze
- Vonalak paraméterei:
  - **Sávszélesség (kapacitás)**
  - Médium
  - Bérelt vonalak esetén garantált sávszélesség, elérhető sávszélesség, stb.
- Csomópontok:
  - Méret (kapcsolási kapacitás, maximális foksám, stb.)
  - Konfiguráció (portkártyák, stb.)
  - Paraméterek (többsoros csomagütemezők paraméterei, puffer-méret, stb.)

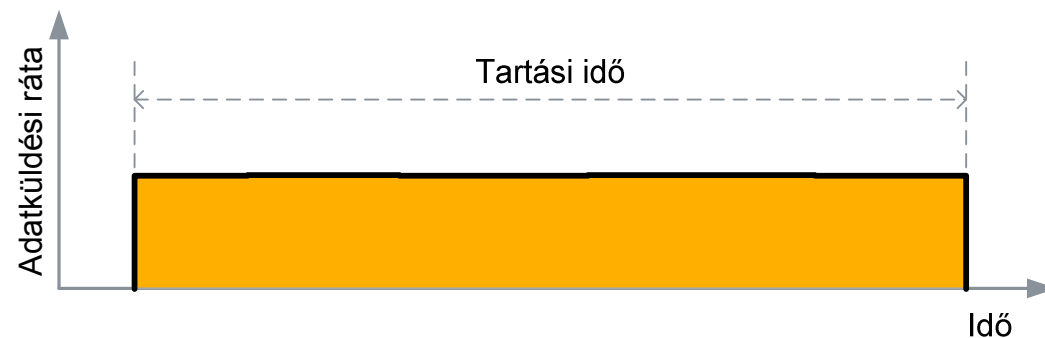
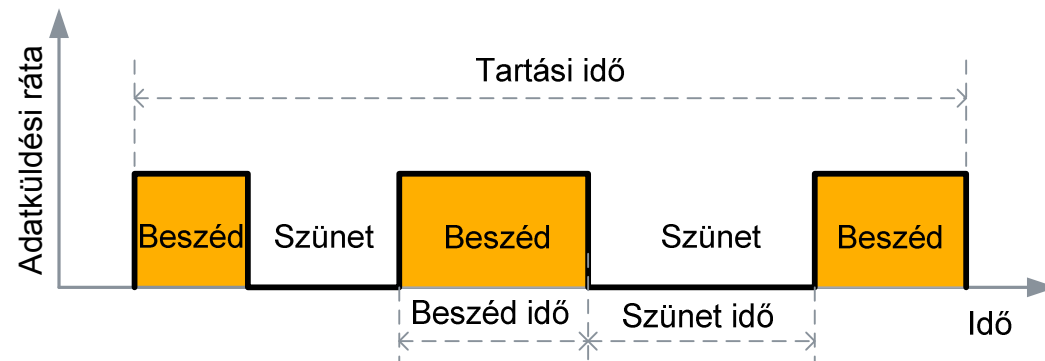
Cél: A felhasználói forgalom (felajánlott forgalom vagy terhelés) megfelelő minőségi kiszolgálása a lehető leghatékonyabb és legolcsóbb hálózattal

# Felhasználói forgalom

Minden szolgáltatás, alkalmazás másképpen néz ki, de lehetőleg kevés, jól érthető paraméterrel kell leírni a forgalmat.

## Valós idejű szolgáltatások

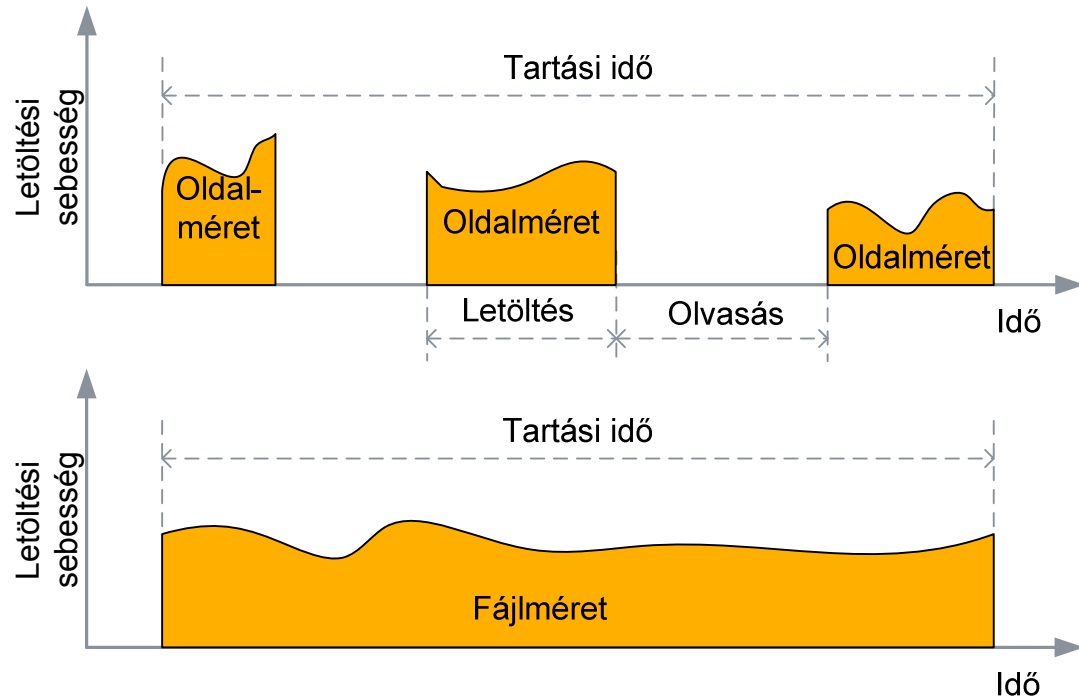
- Hanghívás
  - Intenzitás (kezdeményezési gyakoriság)
  - Tartási idő eloszlás
  - Beszéd idő eloszlás
  - Szünet idő eloszlás
  - Adatráta (beszéd alatt)
- Video streaming
  - Tartási idő eloszlás
  - Adatráta (változhat)
  - Intenzitás



# Felhasználói forgalom (folyt.)

## Nem valós idejű szolgáltatások

- Web böngészés
  - Intenzitás (gyakoriság)
  - Oldal méret eloszlás
  - Objektumok száma oldalanként
  - Olvasási idő eloszlás
  - Böngészési idő eloszlása
- Fájl letöltés, feltöltés
  - Intenzitás (gyakoriság)
  - Fájl méret eloszlás
- Üzenetküldés: email, sms, mms
  - Intenzitás
  - Méret eloszlás

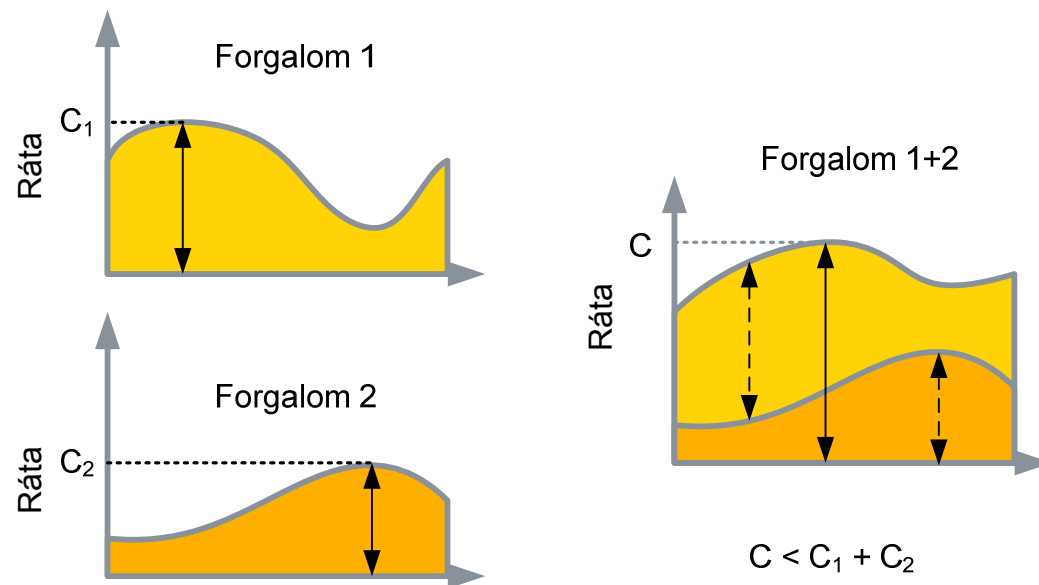




# Multiplexálási nyereség

A forgalom nagyságának időbeli változása és a pufferelés miatt a szükséges link-kapacitás nem additív.

Példa



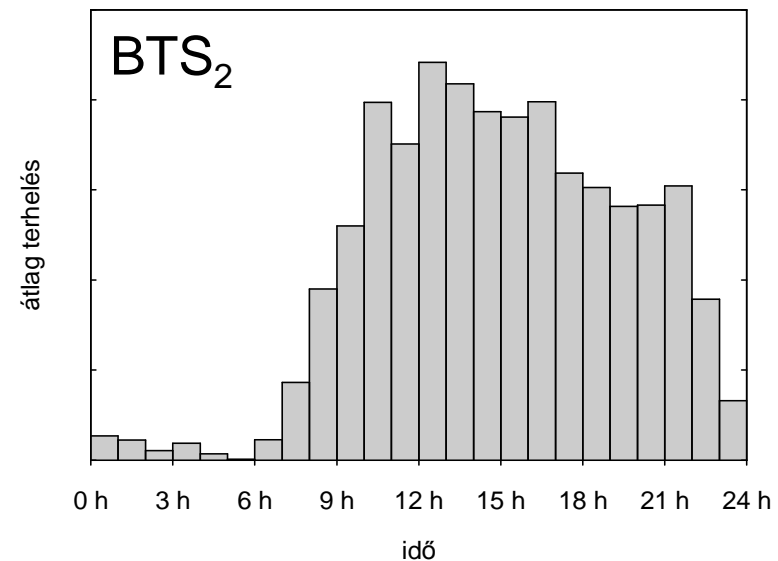
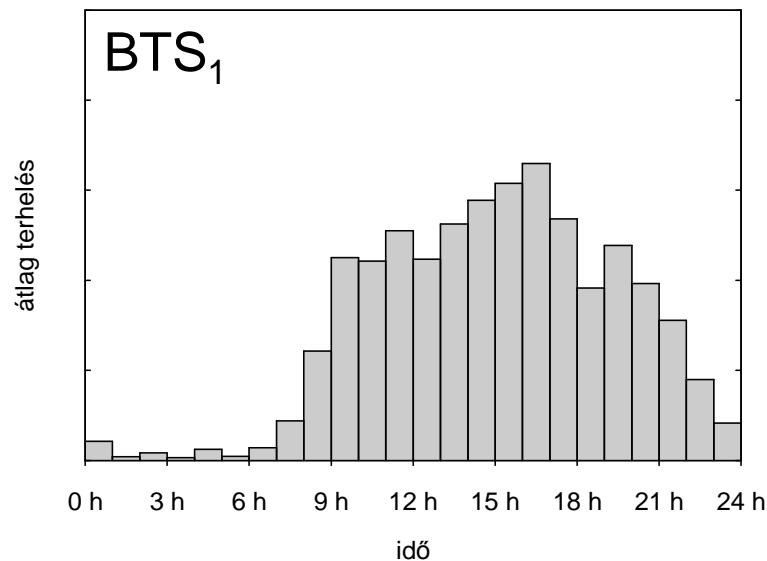
- A forgalom sokféle időskálán változik
- A különböző skálákon történő leírás más-más modellezési szintet igényel
- Multiplexálási nyereség mindegyik szinten megjelenhet

# A felhasználói forgalom (igény) modellezési szintjei

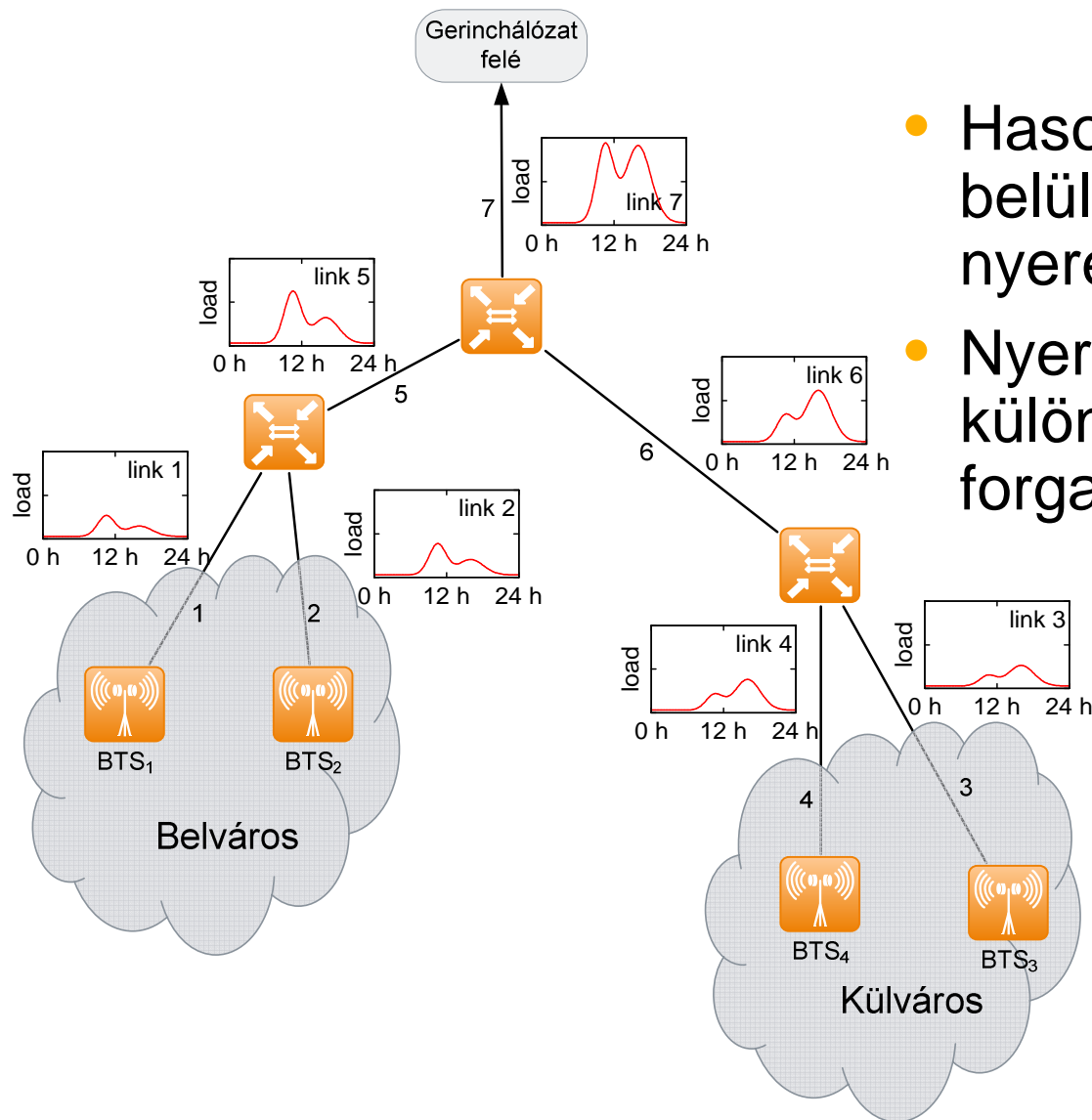
- Napi szintű viselkedés (determinisztikus)
  - Forgalom intenzitásának változása napi szinten
  - A forgalom ingadozásának jellege függ a földrajzi fekvéstől (belváros, külváros, üzleti, magán)
  - Mozgásmodell + felhasználói viselkedés
- Hívás szintű viselkedés (sztochasztikus)
  - Hívások (vagy adatkapcsolatok) kezdeményezésének és befejezésének dinamikája
  - Párhuzamos hívások száma
- Löket szintű viselkedés (sztochasztikus)
  - Aktív és inaktív szakaszok változásának dinamikája
  - puffereelés, késleltetés
- Csomag szintű viselkedés (sztochasztikus + determinisztikus)
  - Csomag érkezések mintázata
  - Csomag szintű késleltetés

# Napi szintű viselkedés

- Forgalom igények nagysága függ a napszaktól
- Napi, heti szintű periodicitás (+ egyedi események)
- A változás alakja függ a földrajzi helytől (pl. belváros, külváros)



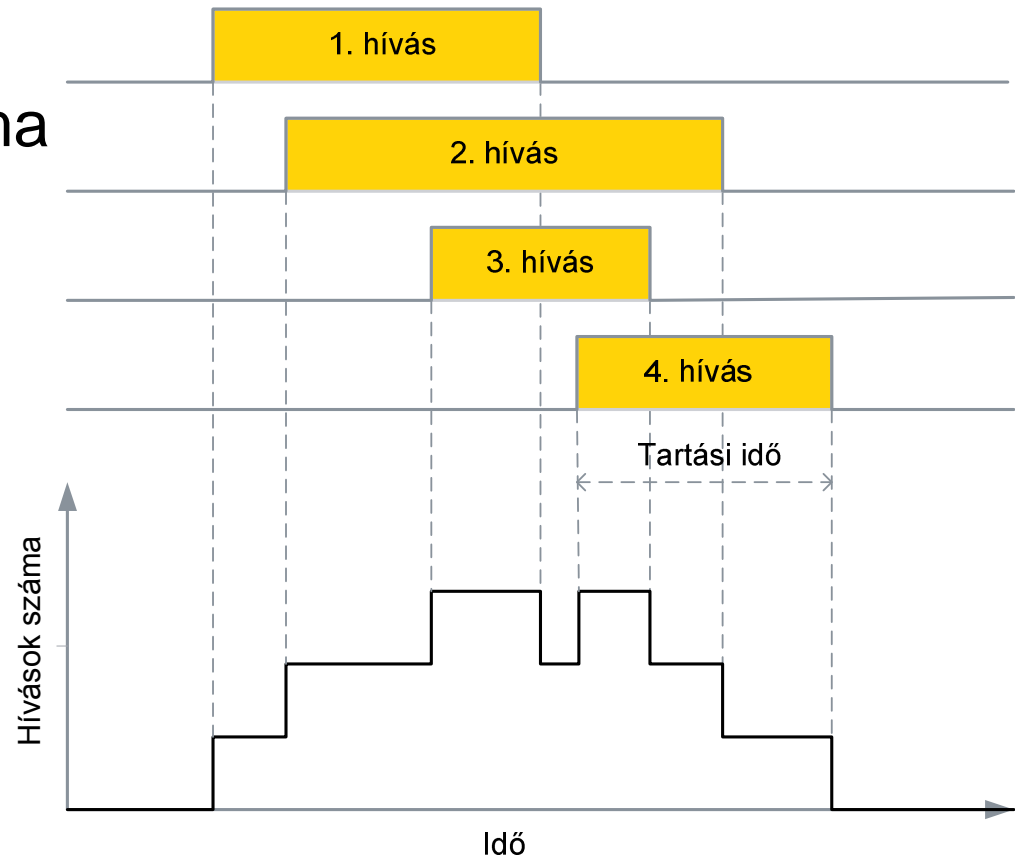
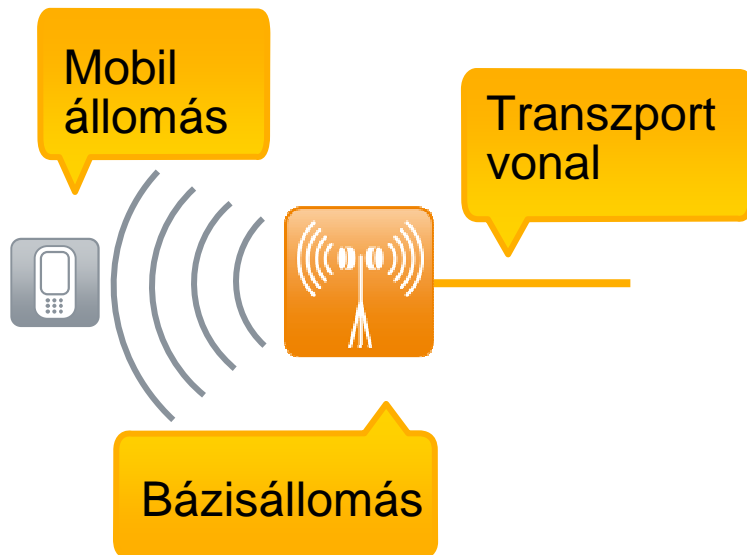
# Napi szintű viselkedés (folyt.)



- Hasonló jellegű területeken belül nincs multiplexálási nyereség
- Nyereség ott van, ahol több különböző jellegű terület forgalma aggregálódik

# Hívás szintű viselkedés

- Hívások kezdeményezése, befejezése
- Párhuzamos hívások száma

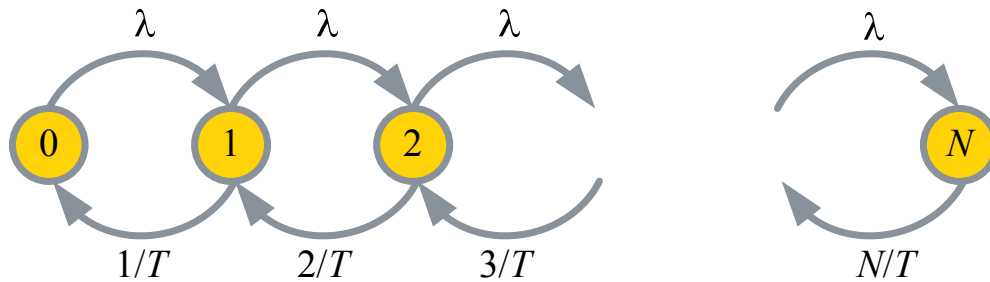


# Hívás szintű viselkedés

Egyszerű modell:

- Egyetlen transzport linket feltételezünk  $C$  kapacitással
- Hívás kezdeményezések függetlenek (Poisson folyamat)  $\lambda$  intenzitással.
- Tartási idők függetlenek, exponenciális eloszlásúak.  
 $T =$  átlagos tartási idő
- Egy hívás adott effektív sáv szélességet igényel ( $BW$ ).  
Párhuzamos hívások maximális száma:  $N = C/BW$
- Telítettség esetén a további hívások sikertelenek, nincs újrapróbálkozás (loss process)
- → Markov folyamat a párhuzamos hívások számára

# Hívás szintű viselkedés (folyt.)



Stacionárius eloszlás:  
csonkolt Poisson (független  
a tartási idő eloszlástól)

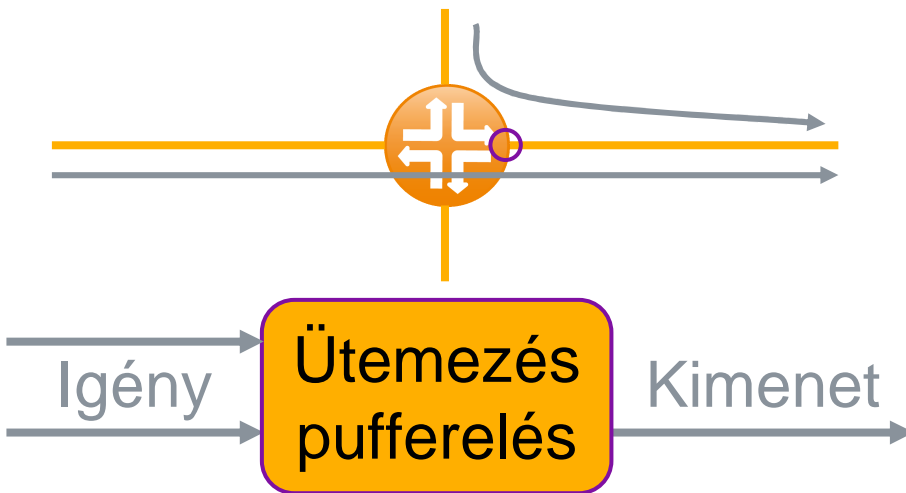
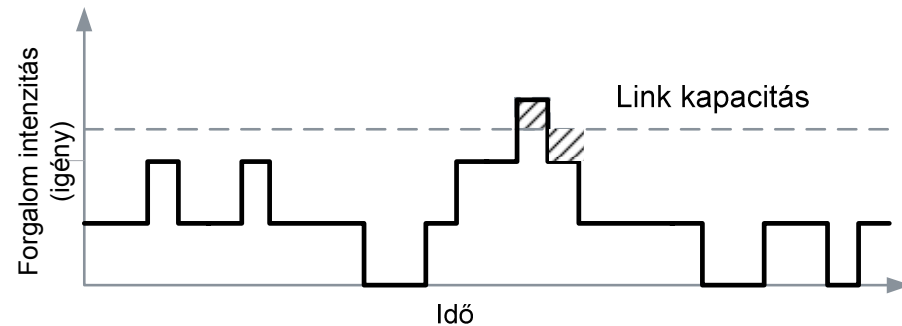
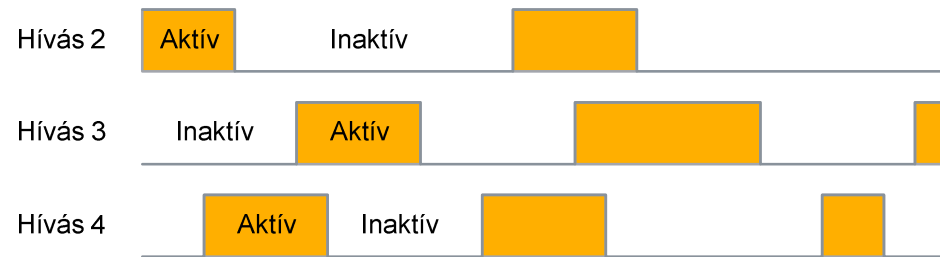
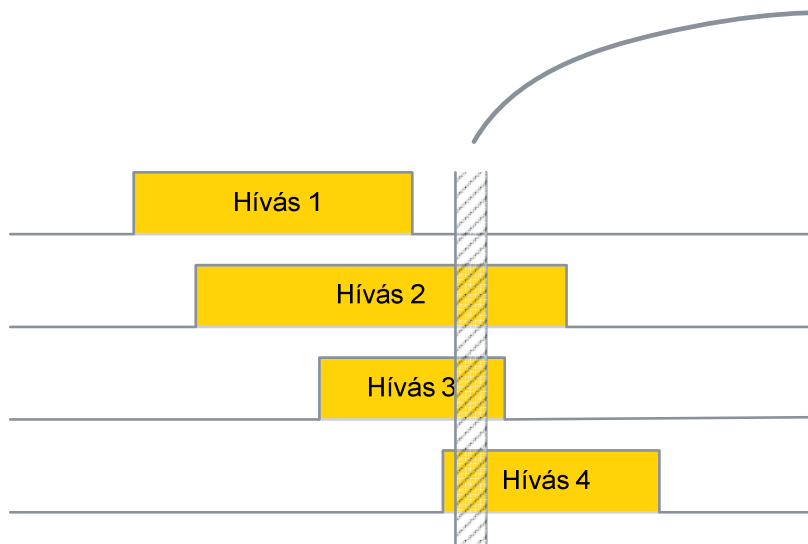
- Blokkolási valószínűség:  $p = \frac{(\lambda T)^N / N!}{\sum_{i=0}^N (\lambda T)^i / i!}$  **Erlang B képlet**
- Adott  $p$ -re ( $\lambda, T, BW$  ismeretében) méretezhető a linkkapacitás
- Általánosítás: Kaufmann-Roberts rekurzió
- Multiplexálási nyereség:  $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2$ ;  $C < C_1 + C_2$

## Miért nem jó?

- Alacsonyabb szintű multiplexálási nyereség nincs (konstans effektív sávszélesség)
- Pufferelés miatti késleltetésre nem mond semmit



# Löklet szintű viselkedés



- Egy hívás (session) nem homogén (löketek).
- A löketek időskáláján már fontos a puffereelés



# Folyadék modell

- A hívások számát rögzítjük ( $N$ ).
- Löketek dinamikája:
  - On-Off jellegű.
  - On periódusok hossza független exp. eloszlású (v.é.:  $T^{\text{On}}$ ).
  - Off periódusok hossza független exp. eloszlású (v.é.:  $T^{\text{Off}}$ ).
- Egy löketen belül az adatáramlás folytonos (folyadék),  $r^{\text{On}}$  és  $r^{\text{Off}}$  rátájú.
- Lehet többféle hívás:  $N_i, T^{\text{On}}_i, T^{\text{Off}}_i, r^{\text{On}}_i, r^{\text{Off}}_i$
- Véges puffer méret:  $B$
- Kiszolgálási kapacitás:  $C$
- A túlcsondult folyadékmennyiség elveszik (dobott csomagok)

# Folyadék modell (folyt)

- $N$  db kapcsolat esetén  $2^N$  állapot
- Markov átmeneti mátrix:  $Q$  ( $2^N \times 2^N$ )
- Stacionárius eloszlás:  $\pi_j$
- $R$  ( $2^N \times 2^N$ ): Diagonálisban bemeneti folyadékkráta -  $C$
- $f_i(x, t) = \text{Prob.}(t \text{ időben } i. \text{ állapotban, és puffer szint } < x)$

Lineáris PDE  $f$ -re: 
$$\frac{\partial}{\partial t} \underline{f}(x, t) + \frac{\partial}{\partial x} \underline{f}(x, t) R = \underline{f}(x, t) Q$$

Spektrális felbontás (stac. mo.): 
$$\underline{f}(x) = \sum_{i=1}^M a_i \underline{\phi}_i e^{\lambda_i x} \quad 0 < x < B$$

Sajátértékegyenlet ( $M$  db megoldás): 
$$(\lambda_i R - Q) \underline{\phi}_i = 0$$

Illesztés a határokon: 
$$\sum_{i=1}^M a_i \phi_{ij} = 0, \text{ if } R_{jj} > 0,$$
$$\sum_{i=1}^M a_i \phi_{ij} e^{\lambda_i B} = \pi_j, \text{ if } R_{jj} < 0,$$

# Folyadék modell (folyt.)

- Folyadékveszteség ( $r$ ) és dobási valószínűség ( $p_{\text{loss}}$ ) számolható

$$r = \sum_i (\pi_i - f_i(B)) \cdot R_{ii}$$

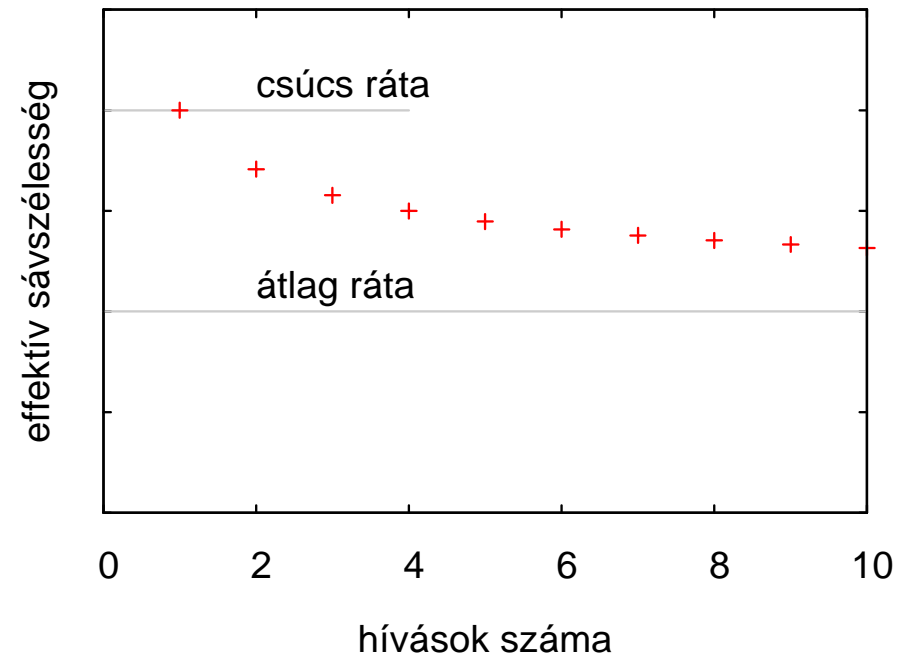
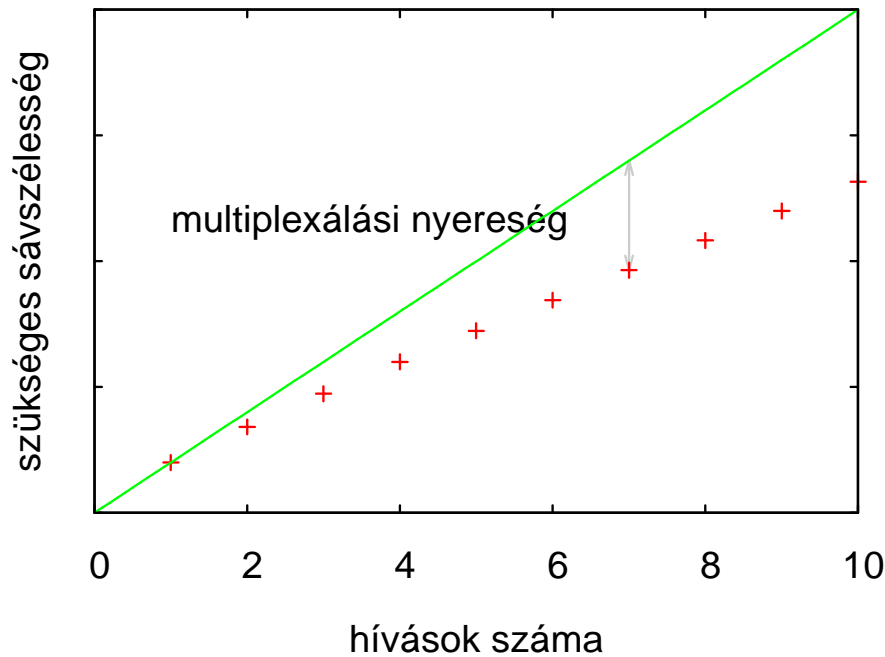
- Várakozási idő ( $W$ ) eloszlás számolható:  $\text{Prob}(W < t)$

## Méretezés

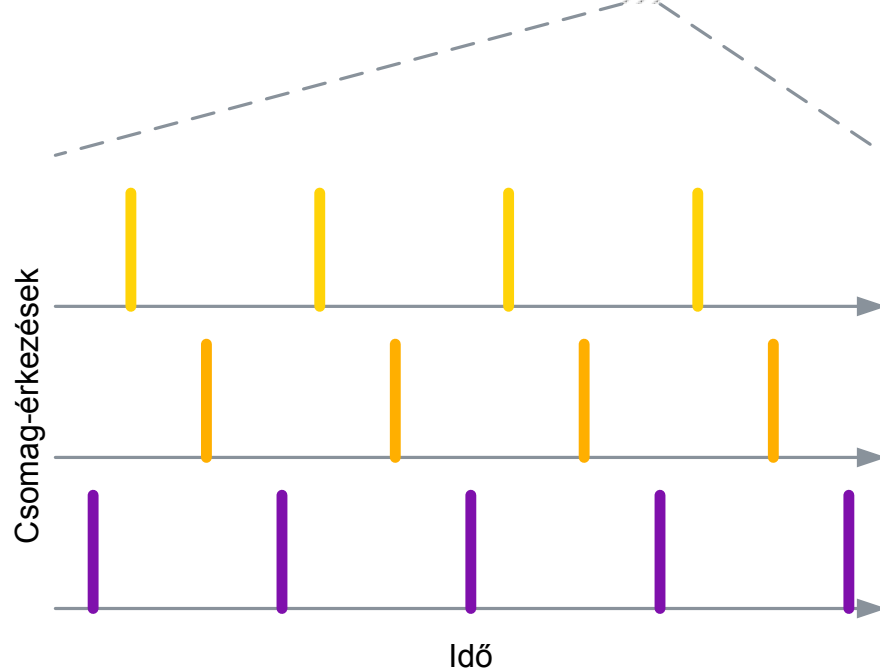
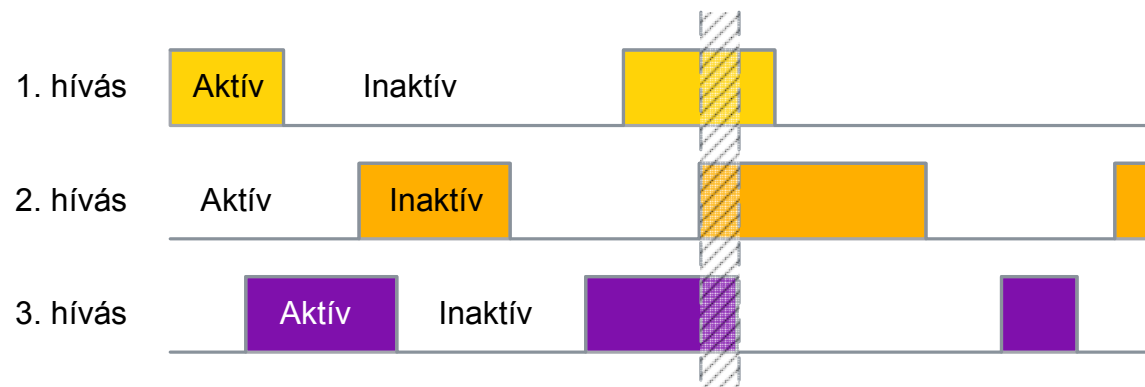
- Adott: kapcsolatok és paramétereik  $N_i, T_{\text{On}_i}^{\text{On}}, T_{\text{Off}_i}^{\text{Off}}, r_{\text{On}_i}^{\text{On}}, r_{\text{Off}_i}^{\text{Off}}$
- Minőségi (QoS) elvárások:
  - $p_{\text{loss}} < p_1$
  - $\text{Prob}(W > t^*) < p_2$
- A kimenő sáv szélességet addig növeljük, amíg el nem érjük azt az értéket, ahol a minőségi elvárások teljesülnek.

# Löket szintű viselkedés (folyt)

A löket szintű viselkedésből és puffereleésből multiplexálási nyereség adódik:



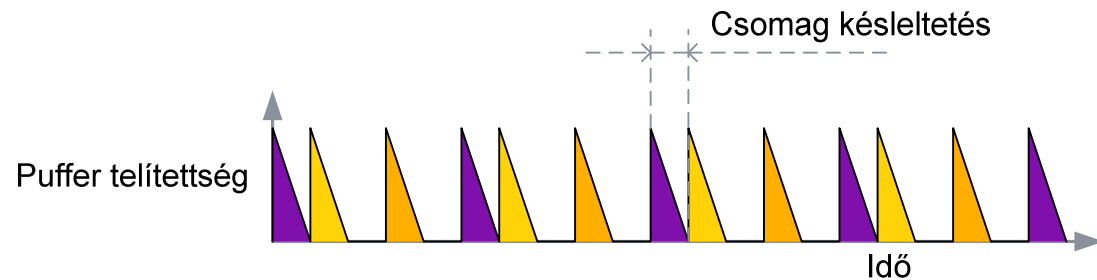
# Csomag szintű viselkedés



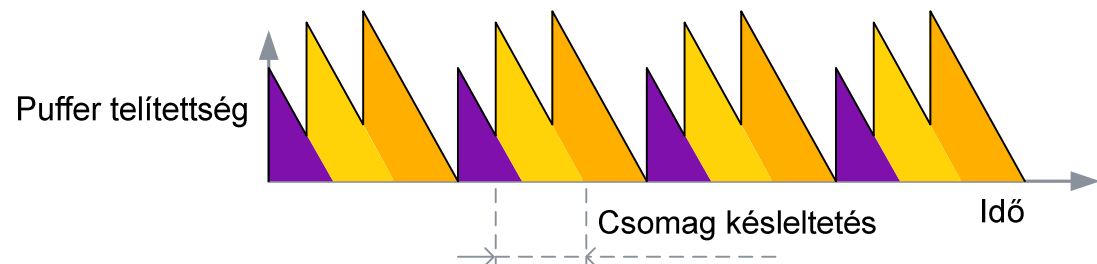
- Egy löketen belül az adatfolyam nem folytonos
- A csomagérkezések valamilyen mintázatot mutatnak

# Csomag szintű késleltetés

Nagyobb link kapacitás



Kisebb link kapacitás

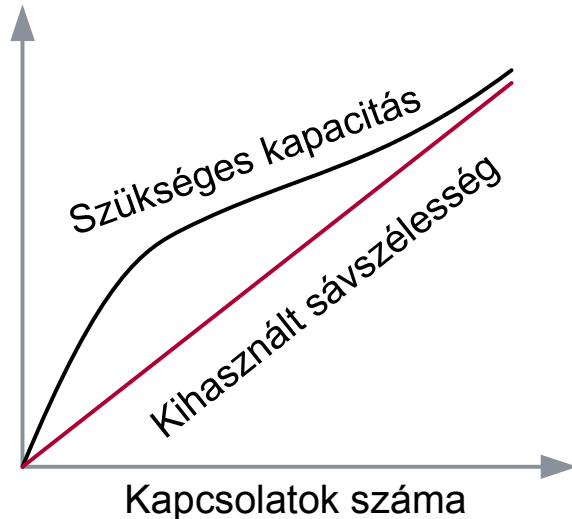


- A csomag szintű késleltetés függ a link-kapacitástól (a löket szintű késleltetés itt nulla).
- Szigorú késleltetés-korlát esetén szükség lehet csomag szintű modellezésre.
- Csomag szintű multiplexálási nyereség, ha nincs teljes link-kihasználtság

# Csomag szintű modell

## N\*D/D/1 sor

- A csomagok egységnyi méretűek, és egy kapcsolaton belül periodikusan érkeznek (periódusidő =  $D$ ).
- $N$  db kapcsolat, a fázisuk független és egyenletes eloszlású.
- A kiszolgálás determinisztikus (egységnyi rátájú).
- Végtelen (elég nagy) puffer.



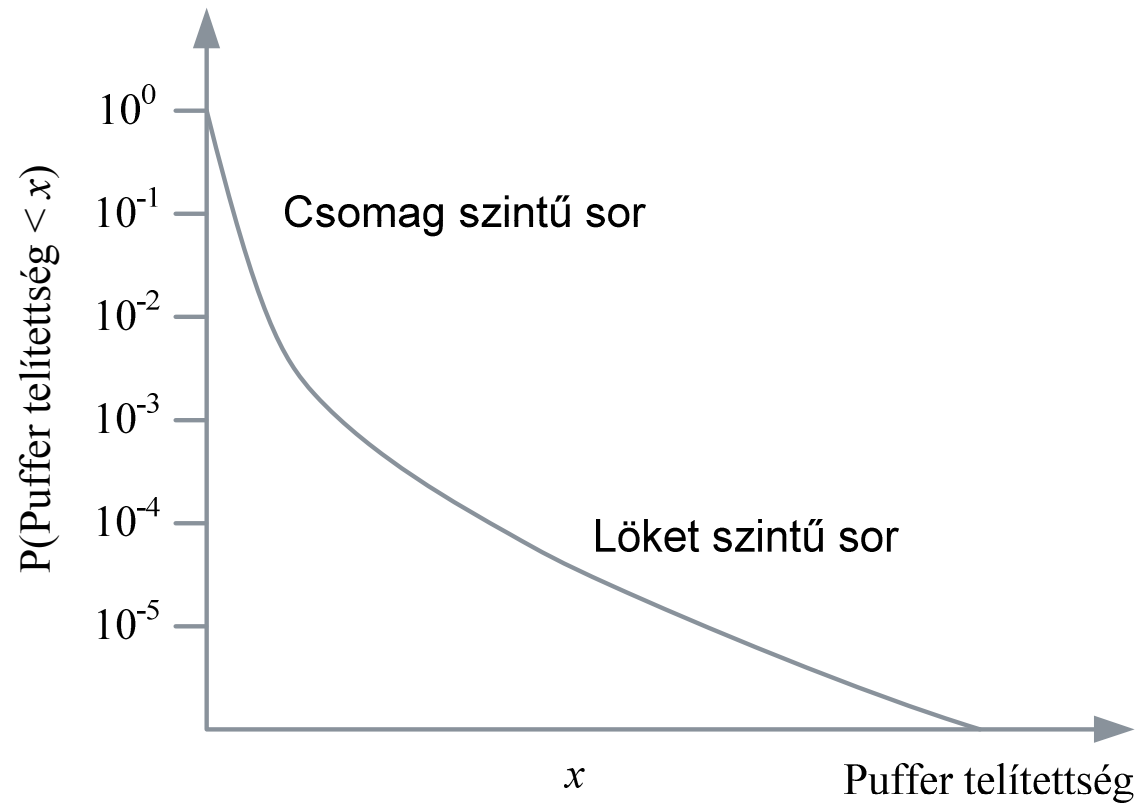
- Sorhossz-eloszlás (és sorbanállási idő eloszlás) egzaktul számolható:

$$\text{Prob}(X > x) = \sum_{x < n \leq N} \binom{N}{n} \left(\frac{n-x}{D}\right)^n \left(1 - \frac{n-x}{D}\right)^{N-n} \frac{D-N+x}{D-n+x}$$

- Adott késleltetés-korláthoz  $P(W > t^*) < p$  és  $N$ -hez link-kapacitás számolható.
- Multiplexálási nyereség.

# Puffer-telítettség eloszlása

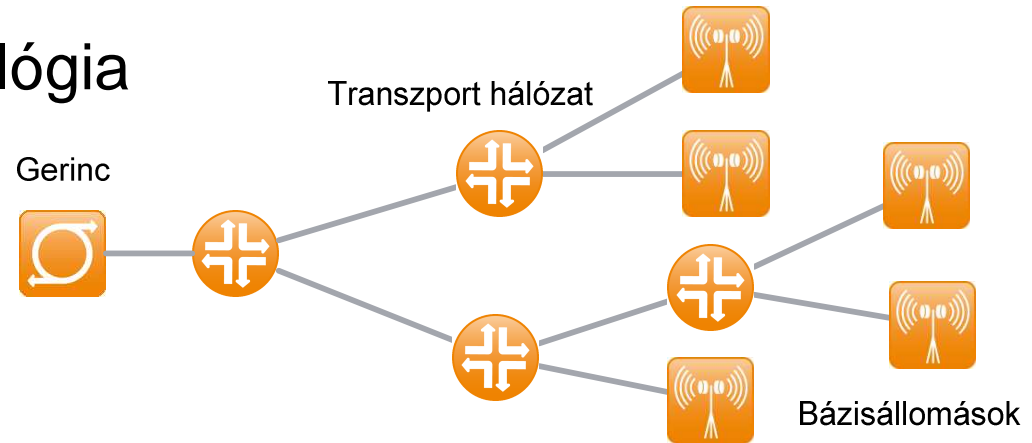
- Kis sorhossz: csomag szintű sorok
- Nagy sorhossz: löket szintű sorok





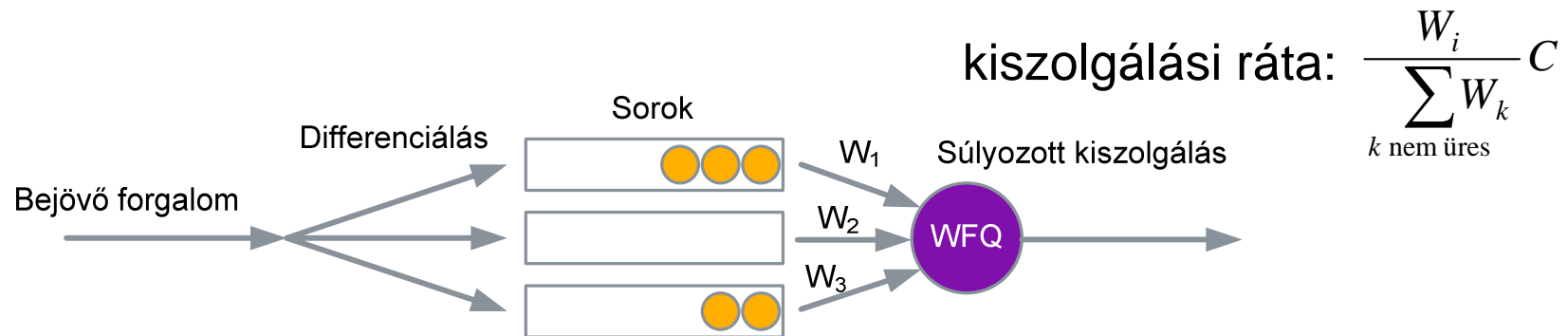
# Egyéb bonyodalmak

- Összetett hálózati topológia



- Ütemezők

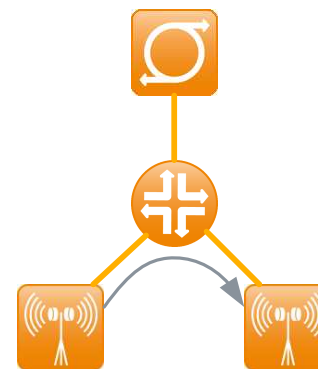
- Többféle forgalmi osztály különböző prioritással (SP, WFQ)



- Bonyolult dobási függvény (RED, WRED)

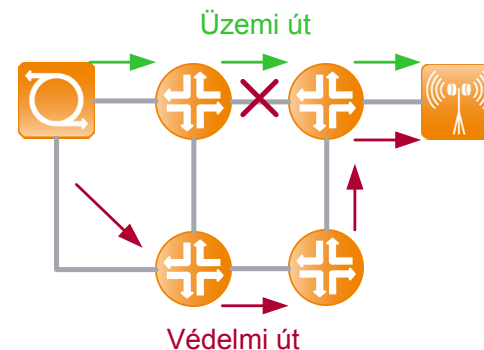
# Egyéb bonyodalmak (folyt.)

- Forgalom alakítók (shaper)
  - Adott ráta fölötti löketeket csak korlátozott méretig engednek
- Elasztikus forgalom
  - Az adatforgalom az összes forgalom egyre nagyobb hányadát teszi ki.
  - A küldési ráta igazodik az elérhető sávszélességhez .
  - Az aktív periódusok hossza függ a letöltési sebességtől.
  - A csomagdobás összetett algoritmus alapján módosítja a küldési rátát.
- Handover
  - Két bázisállomás közötti forgalom
  - Mobilitás modell



# Egyéb bonyodalmak (folyt.)

- Nem pontos forgalom becslések
  - A méretezett hálózatnak végül nem azt a forgalmat kell kiszolgálnia, mint amire tervezték.
  - Ciklikus tervezés: mérés-becslés-méretezés-mérés-becslés-méretezés
- Robosztusság
  - A hálózatnak nem csak egy adott forgalomelegyet kell tudni kiszolgálni a minőségi elvárásoknak megfelelően.
- Védelem, hálózati redundancia



- Üzemeltetési költség, telepítési költség

# Tanulságok

- Transzport hálózatok méretezése komoly analitikus modellezési kihívást jelent.
- A leírás különböző szintjein más-más modellre van szükség
  - Napi (makro) szint
  - Hívás szint
  - Löklet szint
  - Csomag szint
- Sztochasztikus modellek (Markov-láncok, sorbanállási modellek) sikeresen alkalmazhatók, azonban csak a legegyszerűbb esetekben van egzakt megoldás.
- A hálózat különböző aggregációs szintjein (mobil állomás → bázisállomás → transzport hálózat → gerinchálózat) más-más modellezési eljárást kell alkalmazni.

# Lehetőségek az NSN-nél

- Ipari konzulens
  - Témalabor
  - TDK
  - BsC
  - MsC
  - PhD
- Projektek:
  - Analitikus modellezés: Sztochasztika Tanszék, Balázs Márton
  - Szimulációs teljesítményanalízis (C++ tudás szükséges): Rákos Attila

Kapcsolat: Rákos Attila ([attila.rakos@nsn.com](mailto:attila.rakos@nsn.com))